

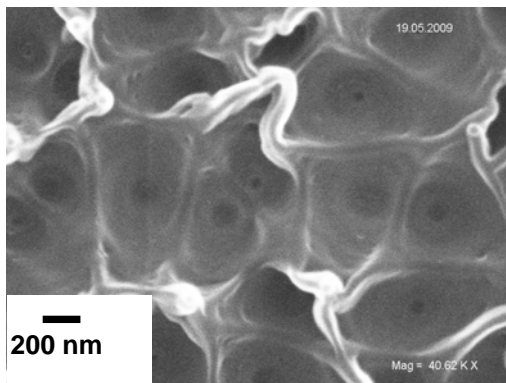
4.2. Взаимодействие ионов с веществом

Н. Г. Чеченин. chechenin@sinp.msu.ru

А. Ф. Тулинов. tulinov@anna19.sinp.msu.ru

Я.А. Теплова. teplova@anna19.sinp.msu.ru

Измерены температурные зависимости коэффициента $\gamma(T)$ ионно-электронной эмиссии базисной грани (0001) высокоориентированного пиролитического графита УПВ-1Т при высокодозном (10^{18} - 10^{19} ион/см²) облучении ионами Ar^+ с энергией от 6 до 30 кэВ. Среди углеродных материалов УПВ-1Т является наиболее близким к естественному монокристаллу графита. В отличие от поликристаллических графитов при энергии ионов 30 кэВ наблюдается не ступенчатый рост выхода электронов при температуре динамического отжига T_a радиационных нарушений, свидетельствующий о переходе поверхностного слоя из аморфизированного при $T < T_a$ в поликристаллическое состояние, а узкий пик при $T_t \approx 150^\circ\text{C}$. Сравнительный анализ энергетических зависимостей выхода электронов при комнатной температуре, $T_t \approx 150^\circ\text{C}$ и повышенной – $T \approx 400^\circ\text{C}$ и результатов дифракции электронов позволил заключить, что температура T_t является температурой текстурного перехода поверхностного слоя УПВ-1Т при $T > T_t$, от структуры, близкой к исходной, к поликристаллической структуре при $T < T_t$. Исследование морфологии поверхностного слоя показали, что наиболее развитый



рельеф образуется при температуре текстурного перехода $T_t = 150^\circ\text{C}$ и пик имеет топографическую причину. Рельеф представляет собой сетку тонкостенных хребтов, которые, срастаясь, образуют колонии конусов нанометрического масштаба (см. рисунок).

Энергетическое и зарядовое распределение протонов и атомов водорода (H^+ и H^0), отраженных от медной поверхности при скользящем падении, измерены при энергии падающих частиц 200 и 250 кэВ. При углах

падения $1^\circ - 2^\circ$ и энергии рассеянных частиц менее 60 кэВ обнаружена зависимость нейтральной фракции отраженных частиц от угла рассеяния. Нейтральная фракция отраженных частиц с энергией более 60-80 кэВ не зависит от угла рассеяния и определяется соотношением между сечениями захвата и потери электрона ионами в веществе.

На основании экспериментальных данных о потерях энергии ионов водорода, лития, бора и азота с энергией 0,01- 0,6 МэВ/н в углеводородах показано, что правило аддитивности для потери энергии нарушается в пределах нескольких процентов. Отмеченное нарушение наиболее заметно в молекулярных мишенях с двойной и тройной углерод-углеродной связью и увеличивается с возрастанием ядерного заряда иона, уменьшаясь по мере увеличения энергии.

Методом компьютерного моделирования исследовано взаимодействие димеров меди с энергией 50–200 эВ/атом с нанокластерами меди на поверхности графита. Обнаружены сильные эффекты синергизма. При моделировании распыления двухкомпонентных соединений предсказана сегрегация мышьяка при бомбардировке арсенида галлия ионами цезия с энергией 2–10 кэВ.

Развита теоретическая модель образования боковых полос в спектрах фотоэлектронов в процессах фотоионизации атомов ультра-короткими рентгеновскими импульсами в присутствии сильного лазерного поля. Полосы образуются за счет интерференции

электронов, испущенных в разные моменты времени. Показано, что существует два типа интерференции электронов в лазерном поле: интерференция электронов, испущенных в одной и той же фазе поля в разные его периоды, и интерференция электронов, испущенных в один и тот же период. Последняя приводит к gross-структуре спектра фотоэлектронов, модулирующей интенсивность боковых полос.

Разработана методика измерения элементного состава материалов путем регистрации характеристического рентгеновского излучения, генерируемого ускоренными протонами PIXE (Particle Induced X-ray Emission), *in-situ* с используемой нами методикой резерфордского обратного рассеяния и каналирования (ROP/C). Методы PIXE и ROP/C использованы для анализа элементного состава керамики на основе циркония, никелида титана и модифицированного при ионной имплантации поверхностного слоя пиролитического графита. Обнаружен эффект сегрегации титана на поверхности при термообработке никелида титана, что может привести к деградации такого свойства никелида титана, как память формы.

Впервые исследованы профили линий Косселя при возбуждении протонами характеристического K_{α} излучения атомов аргона, имплантированных в квазикристалл графита. Найдено, что профили линий Косселя зависят от условий имплантации ионов аргона: линии, генерируемые в кристаллах, имплантированных при температурах 150 и 200° С, имеют разную ширину и контрастность.

Методом ROP исследовались сплавы V–5Ga–6Cr и V–5Ga–0,05Ce, облученные ионами Ar^{+} и N^{+} с энергией 20 кэВ до доз 10^{22} и $2 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-2}$ при плотности потока ионов $6 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Установлено, что максимальное проникновение ионов Ar^{+} не превышает 70 нм, в то время как минимальная толщина упрочненного слоя на поверхности мишеней на два порядка больше (3,25 мкм).

Цикл работ по эффекту управления пучками ионов с помощью диэлектрических капилляров представлен в.н.с. НИИЯФ МГУ Похилом Г.П. к защите докторской диссертации «Бесконтактное прохождение ионов через диэлектрические каналы».

Работа по теме отражена в публикациях:

1. N.N. Andrianova, A.M. Borisov, E.S. Mashkova, E.S. Parilis, E.A. Pitirimova, M.A. Timofeev. Monitoring the structure-phase changes in graphites using temperature regularities of ion-induced electron emission // *Vacuum*, 2010. V.84. P.1033-1037.
- 2 I.S. Dmitriev, Ya.A. Teplova, Yu.A. Belkova, N.V. Novikov, Yu.A. Fainberg. Experimental electron loss and capture cross sections in ion - atom collisions.// *Atomic Data Nucl. Data Tables* V.96 p.85 (2010)
3. V.I. Shulga. Sputtering of GaAs under oblique Cs bombardment: A simulation study // *Nucl. Instr. and Methods in Phys. Res.* 2010. V.B268. P.2626–2630.
4. Н.Г. Чеченин, Т.В.Чувильская, А.А. Широкова, А.Г. Кадменский// Расчеты фрагментации кремния под действием космических протонов высокой энергии с различными оптическими потенциалами. *Известия РАН, сер. Физич.*, т.74 №11, 2010, сс.1660-1664

В работе принимали участие: Андрианова Н.Н., Авилкина В.С., Балашова Л.Л., Бедняков А.А., Белкова Ю.А., Борисов А.М., Гранкина Т.В., Дмитриев И.С., Затекин В.В., Кабачник Н.М., Куликаускас В.С., Машкова Е.С., Новиков Н.В., Патракеев А.С., Петухов В.П., Похил Г.П., Теплова Я.А., Тулинов А.Ф., Файнберг Ю.А., Ходырев В.А., Чеченин Н.Г., Черныш В.С., Чувильская Т.В., Чуманов В.Я., Широкова А.А., Шульга В.И. Студенты физического факультета МГУ: Иешкин А. Е. (6 курс), Андреев Е. А. (6 курс), Коломиец Т.Ю. (6 курс)